

시계열 스테레오 얼굴 영상의 특징점 추적에 의한 얼굴 표정 그래픽 자동제작 연구

조창석 · 장재건*

1. 서 론

사람의 얼굴은 상호간의 대화에 있어 매우 중요한 의미를 갖는 신체 부위이다. 상대방의 얼굴 표정으로부터 감정을 전달받기도 하고, 대화 시에는 음성뿐 아니라 상대의 입술 모양의 변화도 대화 내용의 이해에 중요한 정보가 된다. 캐릭터 애니메이션에서도 이러한 점들은 동일하게 고려되어야 하며, 특히 만화 영화나 광고 등에 사용되는 애니메이션의 경우 얼굴 표정 등을 통해 감정을 전달하게 되므로 얼굴 부분의 처리는 매우 중요한 작업 중 하나이다.

자연스러운 얼굴 표정을 수작업에 의존하지 않고 컴퓨터로 자동제작하기 위해서는 많은 기술적 과제가 극복되어야 하며, 아직 세계적으로도 완전한 얼굴표정의 자동제작 애니메이션을 구현하였다고 할 수 있을 정도의 결과는 얻어지지 않은 상태이다[1]. 본 연구에서는 2대의 CCD 카메라를 이용하여 얼굴 내 다수 특징점의 3차원 위치 움직임을 추적하고 이 결과 좌표 값들을 이용하여 얼굴 표정 그래픽을 자동제작하는 시스템을 개발하였다.

본 연구의 시스템은, 얼굴 특징점들의 움직임을 입력받는 2대의 CCD 카메라 및 촬영과 동시에

입력 영상을 MPEG 파일로 압축하는 MPEG Encoder Board, 퍼스널 컴퓨터로 구성되어 실시간 스테레오 저장이 가능하도록 하였다. 위치 파악용 센서로서 사용하는 CCD 카메라는 풍부한 정보를 가지고 있어 저장된 영상의 분석에 다목적 대응이 가능하고, MPEG 압축의 이용으로 스테레오 영상 파일의 실시간에 의한 저장이 가능하도록 되었으며, 저장된 데이터를 대상으로 특징점의 움직임 추적을 하도록 하였다.

또한 시스템의 안정을 위해 조명 차단을 가변적으로 할 수 있도록 조명 차단막을 설치하였으며, 추적 결과는 범용 3차원 그래픽 패키지(Soft-image 3D, 3D Studio MAX)에서도 이용이 가능하도록 패키지 호환용 프로그램을 제작하여 데이터 변환을 하였다.

2. 연구내용

2.1 시스템 구성 및 영상의 획득

본 연구의 시스템은 2대의 CCD카메라와 영상 캡처보드가 연결된 1대의 퍼스널 컴퓨터로 구성되어 있으며, 두 대의 카메라는 얼굴 정면을 향해 상호 평행하도록 배치된 평행카메라 모델을 채택하였다.

얼굴내 타겟의 인식을 위한 조명환경은 일반 사무실 환경하에서의 촬영 시스템과 주위 조명

본 연구는 산업자원부 공업기반기술개발사업 연구 수행의 일부임
*한신대학교 컴퓨터정보통신학부

상태가 매우 불규칙적인 환경의 2분야에서 가능하도록 차단막 개폐형으로 제작하여 촬영 시스템을 주위환경에 노출된 상태 및 차단막으로 가린 상태의 두 형태 촬영이 가능하도록 하였다. 또한 차단막을 사용하였을 경우를 위하여 시스템내 광량 조절 가능 램프를 부착하였다.

그림 1은 시스템 구성도이며 그림 2는 시스템의 구성 사진이다.

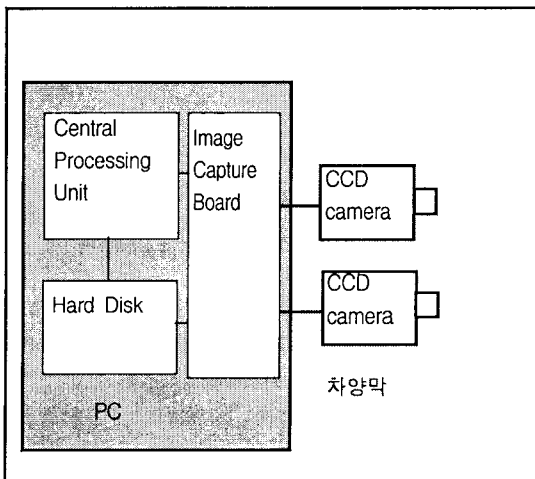


그림 1. 시스템 구성도

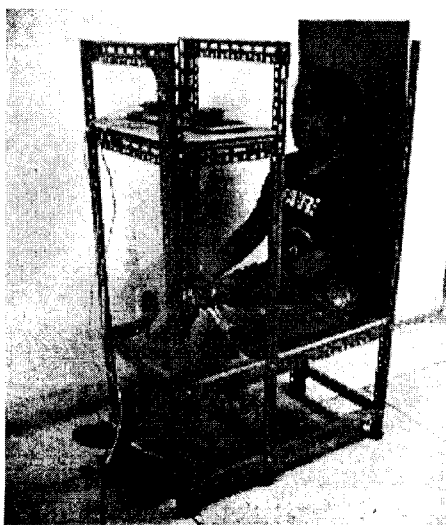


그림 2. 얼굴 촬영대

시스템으로 입력되는 스테레오 영상은 MPEG 파일 형태로 하드디스크에 초당 30 프레임의 비율로 저장되며, 하드디스크의 느린 저장 속도를 감안 영상 압축 효율이 좋은 MPEG 방식을 채택하였다.

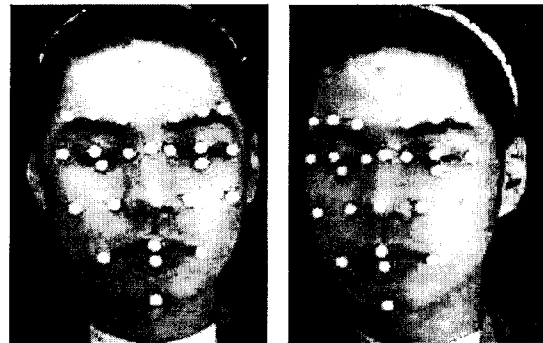


그림 3. 마크부착 상태의 스테레오 영상(좌,우)

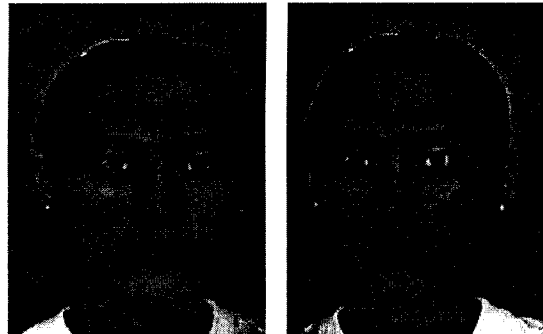


그림 4. 마크없는 상태의 스테레오 영상(좌,우)

2.2 얼굴 특징점 움직임의 3차원 추적

얼굴의 표정 움직임을 추적하기 위하여는 마크 부착 추적 방식 및 마크없는 추적방식의 2중 모드를 채용하였고, 이는 마크부착 방식의 안정성 및 마크를 부착할 수 없는 동공같은 부위를 추적하기 위함이었다.

특징점의 추적을 위한 방법으로는 Wavelet function과 Coarse-to-fine search 방식에 의한 템

플레이트 정합법의 2가지 방식을 사용하였다. Wavelet은 영상의 텍스처가 지나는 정보를 목적에 따라 재가공된 풍부한 정보를 제공하며, 재가공 정보는 마크없는 특징점의 추적에 이용되었다. 마크 부착된 상태의 특징점 추적에는 Coarse-to-fine search 방식의 템플레이트 정합법을 이용하였다. 추적된 시계열 스테레오 영상내의 각 특징점 움직임들은 3차원 좌표로 변환하였다.

2.2.1 마크 추적 알고리즘

마크 부착된 상태의 특징점 추적에는 Coarse-to-fine search 방식의 템플레이트 정합법[2,3]을 이용하였다.

각 특징점의 x, y 위치는, 이전 영상에서의 동일 특징점 위치를 기준으로 설정한 일정범위의 탐색영역을 대상으로, 템플레이트의 크기를 변화시키는 Coarse-to-fine 추적방식에 의한 템플레이트 정합법에 의해 추적한다. 얼굴의 특징점들은 피부의 표면에 있는 특성상, 초당 30 프레임 이상의 영상 샘플링 하에서는 프레임간의 이동 범위가 극히 제한될 수 밖에 없기 때문에 위의 방식은 추적의 안정성과 고속성을 높이는데 효율적이다. 단 첫번째 영상에서만은 각 특징점의 탐색 초기치를 마우스로 입력한다. 다음의 (식 1)과 (식 2)는 탐색을 위한 정합법 계산 및 탐색 범위 계산식이다. 각 특징점은 탐색범위 안에서 입력영상 p 에 템플레이트 t 를 이동해가며 입력 영상과 템플레이트 사이의 그레이레벨의 오차가 가장 작은 오차자승합 SS 값을 갖는 템플레이트 위치를 특징점의 위치로 한다.

$$SS_{ij} = \sum_m \sum_n (p(n, m)_{ij} - t(n, m))^2 \quad (\text{식 1})$$

여기서 $p(n, m)$ 은 템플레이트 정합시의 영상상의 그레이레벨, $t(n, m)$ 은 템플레이트의 그레이레벨을 나타내고, i, j 는 x, y 축 방향으로의 템

플레이트 이동량을 나타낸다. 그리고 n, m 은 템플레이트의 좌표를 나타낸다. 템플레이트 좌표인 n, m 과 영상 상의 좌표인 x, y 와의 관계는 다음의 (식 2)에 의한다.

$$p(x, y) = p(n, m)_{ij} \quad (\text{식 2})$$

$$y = Cy_{f-1} - \Delta y + j + m \quad x = Cx_{f-1} - \Delta x + i + n$$

여기서, Cx_{f-1}, Cy_{f-1} 은 이전 프레임(f)에서 추적된 특징점의 중심좌표이며, $\Delta x, \Delta y$ 는 중심좌표로부터의 추적범위를 나타낸다. 또한 템플레이트 이동량 i, j 는 탐색범위 $\pm \Delta x, \pm \Delta y$ 를 초과할 수 없다.

첫 번째 프레임에서 받아들인 초기 좌표를 기준으로 탐색을 시작하며, 추적 방식은 전 프레임에서 찾은 특징점을 기준으로 현 프레임 영상 주위를 탐색하여 값들이 일치하는 좌표를 얻어내는 Template 정합법을 이용하였다. 템플레이트 정합시 범위에 걸치거나 일부 벗어난 경우(고속의 움직임) 또는 텍스처 정보의 부족으로 정합이 잘 이루어지지 않는 경우는 템플레이트의 크기를 점차로 확장하여 추적한다.

총 446 프레임의 영상 중, 최초 영상으로 특징점의 위치를 초기화 한 후 7*7 크기의 템플레이트로 특징점을 탐색하였다. 탐색영역의 크기인 $\Delta x, \Delta y$ 는 각 5 픽셀로 하여 총 탐색범위는 특징점당 11*11 픽셀로 하였다. 이는 각 특징점간 상호 겹치지 않는 최대 영역이다. 추적된 좌표의 위치 오차는 10 프레임을 대상으로 하여 수동 탐색한 결과와 자동 탐색 결과를 비교하여 오차를 계산하였다. 21개의 특징점에 대한 10 프레임의 오차 절대값의 평균은 x 축 방향으로 0.16 픽셀, y 축 방향으로 0.10 픽셀로 정확하게 추적되었음을 확인할 수 있었다.

2.2.2 마크없는 특징점 추적 알고리즘

마크없는 특징점 추적방법으로는 Wavelets과

에피폴라 영상(Epipolar-Plane Image, EPI)[7, 10]을 이용한 알고리즘을 사용하였다. 함수 f 에 대한 웨이브릿 분해(decomposition)는 단순 함수 ϕ 의 평행 이동된 확장들의 1차적 조합으로 표시할 수 있다. 즉, $f \in L^2(\mathbf{R})$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x) = \sum_{j,k=-\infty}^{\infty} c_{j,k} \phi_{j,k}(x) \quad (\text{식 3})$$

여기서 $c_{j,k}$ 는 정수 j 와 k 에 대한 웨이브릿 계수이며, $\phi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \phi(2^j x - k)$ 이다. 웨이브릿을 구성하기 위해서는 실제값의 scaling 함수 $\phi(x)$ 가 필요하다. 하나의 벡터 공간 V_0 에서 다른 해상도에서의 함수 $f(x)$ 에 대한 근사값을 알기 위해서 정수 j, k 에 대하여 다음의 함수가 사용된다.

$$\phi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \phi(2^j x - k) \quad (\text{식 4})$$

다해상도 분해에서 초기 신호는 첫 단계에서 1차 필터로 분해된다. 그런 다음 신호는 근사(approximation) 영상과 세부(detail) 영상으로 나뉘어진다. 두 번째 단계에서는 다시 웨이브릿 분해가 첫 단계에서 얻어진 근사 영상에서 이루어진다. 이러한 단계에서 scaling 함수 $\phi(x)$ 는 low pass 필터이고, 웨이브릿 함수 $\psi(x)$ 는 high pass 필터이다.

다차원 신호에 대한 웨이브릿 분해를 얻는 방법으로는 Mallot[9]이 사용한 방법과 같이 1차원의 scaling 함수와 웨이브릿 함수를 각 차원에 대하여 적용하는 것이다. 2차 신호에 대한 웨이브릿 분해로 얻어지는 함수는 1개의 scaling 함수와 3개의 웨이브릿 함수이며, 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \phi(x, y) &= \phi(x)\phi(y), \mu^1(x, y) = \phi(x)\psi(y), \\ \mu^2(x, y) &= \psi(x)\phi(y), \mu^3(x, y) = \psi(x)\psi(y). \end{aligned} \quad (\text{식 5})$$

영상에 대한 2차 웨이브릿 함수들은 각 방향에

대하여 민감한 반응을 보인다. 첫 웨이브릿 필터 μ^1 은 수직 방향으로 높은 주파수에 민감하므로 수평 에지들에 대하여 높은 값을 갖는다. 두 번째 필터 μ^2 는 수평 방향으로 높은 주파수에 민감하므로 수직 에지들에 대하여 높은 값을 갖고, 마지막 필터 μ^3 는 모퉁이나 대각선들에 대하여 높은 값을 갖는다. 아래 그림(그림 5)은 원 영상과 그 영상에 대하여 2차 웨이브릿을 한 결과이다.



그림 5. 원 영상과 그 영상을 웨이브릿한 결과

위의 그림에서 오른쪽에 있는 웨이브릿 결과는 Daubechie' W6 계수(coefficient)[8]를 사용하였으며, EPI 단계에서 사용할 웨이브릿 계수는 μ^1 과 μ^2 를 결합하여 만들었다.

연속적인 영상들에 대한 웨이브릿 계수들의 동적 움직임을 파악하기 위하여 웨이브릿 영상에서 만들어진 EPI를 형성하는 과정에서 원 영상에서의 마크점의 위치를 파악한 후 3차원 웨이브릿 영상으로부터 그 위치에서 주사선을 선택하였다. 그림 6은 마크점을 표시한 원 영상과 그 마크점의 위치에 해당되는 주사선을 선택하여 보여준 EPI를 나타낸다.



그림 6. 마크점을 표시한 원 영상과 그 위치에 따라 만들어진 EPI

웨이브릿에 의해 얻어지는 엣지들은 동적 영상에 대한 분석에 있어서 자동적으로 올바른 EPI 형태를 만들어 준다. EPI에서 나타나는 엣지들의 흐름은 각 영상에서의 위치한 축에 따라 움직임이 나타나므로 흐름의 기울기를 알면 위치가 변화하는 것을 파악할 수 있다.

2.3 스테레오 정합

특징점에 대한 스테레오 정합은 좌측 영상에서의 포착한 특징점의 우측 영상 정합점을 찾아 3차원 해석을 하기 위한 것으로 전 얼굴 영상의 스테레오 정합을 위한 것이 아닌 특징점 들만의 정합점을 찾도록 하였다. 얼굴 영상 전체의 정합을 위하여는 밝기 기반 정보에 의한 동적 계획법[11]에 의한 방법 등이 많이 쓰이고 있으나 현 본 연구에서는 특징점 만을 정합하면 되기 때문에 웨이브릿 함수를 사용하여 정합점을 탐색하였다. 정합점을 찾기 위한 구간은 좌측 특징점과 동일 에피폴라선(Epipolar line) 상의 우측 영상의 일정 구간 만을 대상으로 하여 탐색하였으며 에피폴라 선상의 탐색 구간 범위는 10 픽셀 이내로 하였다.

그림 7은 좌우 영상 및 에피폴라 선상의 정합점 탐색구간을 표시한 것이다.

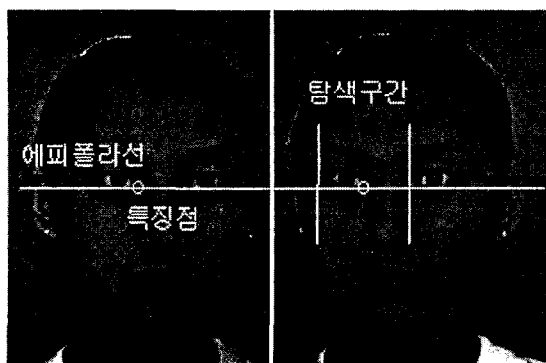


그림 7. 좌우측 영상 및 에피폴라선 상의 정합점 탐색구간

2.4 그래픽 패키지 인터페이스

추적된 좌표는 기존의 널리 알려진 그래픽 소프트웨어 패키지(Softimage, 3D Studio Max)[4-6]에서 사용할 수 있도록, 데이터 파일 호환 기능을 첨가하였다.

2.4.1 SoftImage호환 파일 생성

마이크로소프트사의 SOFTIMAGE 3D는 3차원 그래픽스 소프트웨어이다. Softimage 3D는 총 12개의 파일을 사용하며, 이 중에서 애니메이션 생성에 필수적인 파일은 cam, sts, dsc, hrc, ani 이다. 그 외는 카메라 위치, 빛, 재질 등에 대한 정보를 가진 파일도 생성되지만 애니메이션 분석과는 관련이 없다.

파일의 호환을 위해서는 카메라 정보를 가지고 있는 *.cam 파일과 Softimage setup 정보인 *.sts 파일은 기본으로 지정되어있는 파일로 1개씩 필요하며, 이 파일들과 추적 데이터를 이용하여 전체적인 정보를 가지는 *.dsc 파일 1개를 만들고, 물체의 형태에 대한 정보와 초기 위치 데이터의 정보를 가지고 있는 *.hrc 파일과 각 frame 마다의 물체 애니메이션 정보로 생성되는 *.ani 파일은 특징점의 개수만큼씩 생성시켰다.

2.4.2 Max 호환 파일 생성

3D Studio MAX는 *.max, *.3ds, *.al, *.dxf, *.shp 등 다양한 파일들을 지원할 수 있으며, 그 중에서 *.max파일과 *.3ds파일 만이 Animation을 지원한다. max파일은 3ds파일보다 정보량이 많고, 본 연구에서 필요로 하는 것을 3ds에서 표현하는 것이 가능하기에 3ds파일을 선택하였다.

3D Studio MAX에서는 키 프레임이라는 것을 사용해서 애니메이션을 만드는데, 키 프레임이라는 것은 전체 프레임 중에서 몇몇 중요한 프레임에서만 사용자가 각 Object의 행위를 지정해 주게 되면 그 사이는 3D Studio MAX가 알아서 실제

행동과 일치하도록 각 프레임을 만들어 주는 방법이다. 하지만 본 연구에서는 각 프레임의 위치 데이터를 찾는 것이기에 각 프레임에서 위치를 지정해 줌으로써 호환 파일을 생성하였다.

2.5 얼굴 표정 애니메이션

얼굴의 모션추적에서 얻어진 3차원 좌표를 이용해, 모션캡처 시스템 상의 실제 얼굴 표정과 사이버 공간상의 가상배우의 표정 움직임이 동기화 된 애니메이션을 자동 제작하는 엔진을 개발하였고, 사이버 인물의 표정 애니메이션은 눈, 코, 입의 특징을 임의 입력한 후 자동 제작될 수도 있고, 모션추적 대상의 얼굴에서 눈, 코, 입의 3차원적 특징을 자동 추출하여, 피 촬영자와 닮은 얼굴의 그래픽의 제작도 가능하도록 하는 2가지 방식으로 구현하였다.

2.5.1 얼굴 모델링

얼굴의 모델링을 위하여는 기본 얼굴의 골격을 삼각형 폴리곤의 결합에 의해 작성을 하였으며 각 표정들에 따른 폴리곤의 결합을 관찰하였다. 삼각형 폴리곤을 이용하는 이유는 대부분의 3D 가속 하드웨어가 삼각형을 그리는데 상당히 최적화 되어 있기 때문이다. 얼굴의 표정은 얼굴 근육의 움직임에 비례적인 관계를 가지고 있으며 해부도에서 참조하여 얼굴 모델링을 하였다.

모델링된 얼굴은 애니메이션을 위한 폴리곤 클러스터를 형성하였고 클러스터는 근육의 위치를 고려하여 결합하였다.

다음의 그림 8은 모델링된 얼굴의 전면부만을 표현한 것이며 전체구성그림 11에는 눈, 귀, 머리카락 및 후두부가 포함된다.

2.5.2 애니메이션

얼굴의 모델링을 위하여는 기본 얼굴의 골격을 삼각형 폴리곤의 결합에 의해 작성을 하였으며

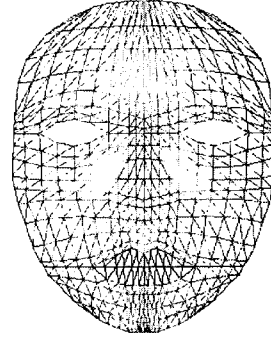


그림 8. 얼굴의 기본 모델

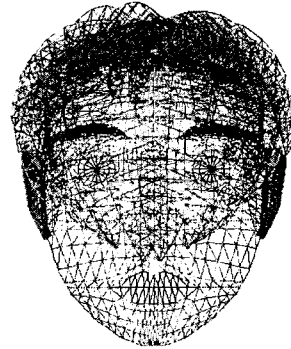


그림 9. 얼굴 기본 모델(눈, 귀, 눈썹, 머리카락 추가)

얼굴의 근육 움직임에 따른 폴리곤 클러스터를 형성하여 애니메이션이 자동제작되도록 하였다. 얼굴 표정 애니메이션 엔진 제작은 Visual C++과 OpenGL 함수를 사용하였다.

아래의 그림 10은 폴리곤 클러스터 형성을 표시한 것이다. 영역 A1-A6는 수평으로 그룹지어진 폴리곤 클러스터 구분이며 B1-B2는 수직으로 영역분할된 클러스터 구분이다. 영역 A1, A4는 애니메이션 동작의 영향을 받지않고 얼굴 특징을 결정할때 변화하는 부분이며, A2는 눈썹의 움직임, A3B1 및 A3B2는 좌, 우 눈의 움직임, A5는 입, A6는 입의 움직임과 함께 수반되는 턱의 움직임 반영 및 얼굴 특징의 반영을 위한 클러스터이다.

아래의 그림 11은 얼굴의 움직임 및 얼굴 특징을

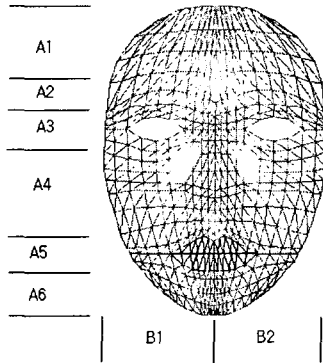


그림 10. 폴리곤 클러스터 형성

결정짓는 주요 특징점과 폴리곤과의 결합을 나타내는 것으로 표시된 점의 움직임이 주위의 클러스터의 변화를 결정하게 되며, 애니메이션 실행 및 얼굴 특징을 결정할때 데이터를 입력받는 부분이 된다.

애니메이션의 수행시 한 클러스터 내의 특징점의 움직임 벡터 변화는 선형비례 및 2차 방정식의 비례관계에 의거하여 클러스터에 소속된 폴리곤 결합 간의 결합비율을 조정하게 된다. 즉, 수직방향의 움직임은 폴리곤의 결합비율이 수직방향으로 축소 또는 확대되게 되며 수평방향은 수평방향으로, 경사방향으로의 변화는 경사각에 따른 수직, 수평방향으로 복합하여 결합비율이 확대, 축소되게 된다.

이러한 결합비율의 확대 또는 축소는 구분된 클러스터의 성격에 따라 다르며, 눈이 포함된 영역(위 그림에서의 A3 영역) 및 입이 포함된 영역(위 그림에서의 A5 영역)에서의 수직방향의 움직임은 2차 방정식의 비례관계에 따라 폴리곤 결합비율을 조정하였다.

3. 실험결과

3.1 추적 결과

실험은 실내 사무실 환경에서 조명의 통제없이 얼굴을 촬영, 스테레오 추적을 하여 그래픽 패키지 호환 파일을 생성시키고, 자체제작 그래픽 엔진에서

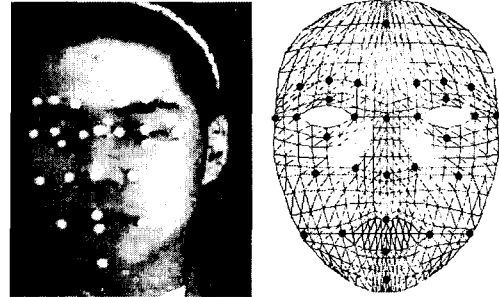


그림 11. 추적 마크와 얼굴특징점 및 폴리곤의 결합도

작성되는 애니메이션의 모습을 관찰하였다.

마크 부착상태의 추적은 총 446 프레임의 영상 중, 10 프레임을 대상으로 하여 수동 탐색한 결과와 자동 탐색 결과를 비교하여 X-Y 평면 추적상의 오차를 계산하였다. 21개의 특징점에 대한 10 프레임의 오차 절대값의 평균은 x축 방향으로 0.16 픽셀, y축 방향으로 0.10 픽셀로 정확하게 추적되었음을 확인할 수 있었다.

다음의 그림 12는 실험에 사용된 영상 중의 한 샘플(우측 영상)과 추적결과를 3차원 좌표축 상에 표현한 것이다.

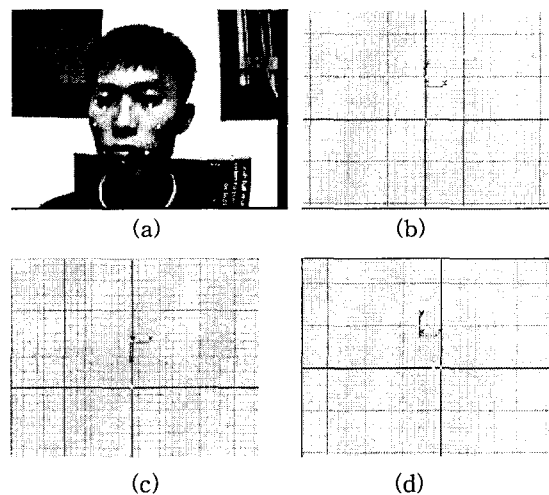


그림 12. 촬영영상(우측 카메라) 샘플 및 마크 추적 결과 도시

(a) 촬영영상(우측 카메라) 샘플, (b) 마크추적결과 (X-Y 축)
(c) 마크추적결과 (X-Z 축), (d) 마크추적결과 (Y-Z 축)

3.2 애니메이션 결과

아래의 그림 13은 표정 애니메이션의 일부 샘플을 도시한 것임.

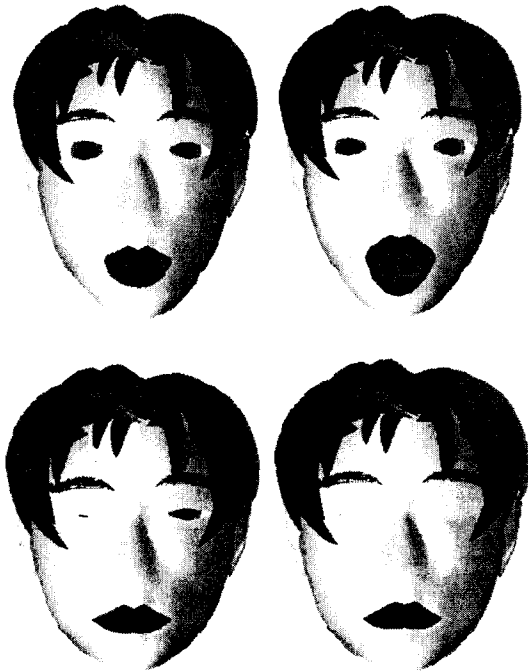


그림 13. 표정 애니메이션

4. 결론 및 검토

본 연구에서는 2대의 CCD 카메라를 이용하여 얼굴 내 다수 특징점의 3차원 위치 움직임을 추적하고 이 결과 좌표 값들을 이용하여 얼굴 표정 그래픽을 자동제작하는 것을 목표로 하였고, 실험 결과 특징점 움직임의 스테레오 추적 및 얼굴 그래픽의 자동 생성을 엔진 개발 및 추적결과와 엔진과의 연동을 완료하였다.

단, 마크 미부착 추적시 농도변화가 적은 부분의 경우, 추적이 정확히 이루어지지 않는 점은 농도 이용상의 한계로 판단된다. 따라서 향후 후속 연구에서는 농도 정보 이외의 추가적 정보를 모색

해야 한다고 판단하고 있다.

얼굴 표정 그래픽의 경우 펜티엄 급 PC를 타겟 사양으로 하여 시스템 개발을 진행하였기에 제작의 속도는 느리나, 실시간으로 그래픽이 제작될 필요가 없는 환경하에서는 컴퓨터에 의한 그래픽 자동 제작의 장점이 있어 실무에서도 널리 활용이 가능하다고 판단하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김용순, 김영수, "3차원 캐릭터 애니메이션 기술 동향", 정보과학회지 제17권 제2호(통권 제 117 호), 1999.2, pp.48-59
- [2] Qiong Liu, Charissa Lansing and Thomas Huang, "Facial motion Tracking from Fine to Coarse", Proceedings of the 14th International Conference on Pattern Recognition, Vol.1, USA, 1998, pp.725~727
- [3] C.Drewniok and K.Rohr, "Model-based detection and localization of circular landmarks in aerial images", Int'l J.Computer Vision, Vol.24, No.3, pp.187-217, 1997
- [4] 최재원, "MAYA", (주)영진출판사, 1998, pp.11-12
- [5] 박완도, "Softimgel3D Vol.Ⅱ", 성안당, 1998, pp. 113-147
- [6] 이상훈, "3D Studio MAX", 한국컴퓨터매거진, 1996, pp.1-12
- [7] Jae-Khun Chang and T.L.Huntsberger, "Dynamic motion analysis using wavelet flow surface images", Pattern Recognition Letters, Vol. 20, No. 4, 1999, pp. 383-393.
- [8] I. Daubechies, Ten Lectures on Wavelets, CBMS 61, SIAM, 1992.
- [9] S.G.Mallat, "ATheory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet representation", IEEE Trans. PAMI Vol. 11, No. 7, July, 1989, pp.674-693.
- [10] R.Rangachar, T.H.Hong, M.Herman and R.Luck, "Analysis of Optical Flow Estimation Using Epipolar Plane Images", Proc. SPIE Sympos.

Intelligent Robots and Computer Vision IX: Neural, Biological, and 3-D Methods, SPIE Vol. 1382, Boston, MA., Nov. 7-9, 1990, pp 376-385.

[11] Y.Ota and T.Kanade, "Stereo by intra and inter-scanline search using dynamic programming", IEEE Trans. PAMI, Vol.7, No.2, pp.139-154, 1985.



조 창 석

- 1985년~1995년 KIST 시스템공학연구소 선임연구원(현 ETRI 컴퓨터소프트웨어연구소)
- 1995년 게이오대학 공학박사
- 1995년~현재 한신대학교 컴퓨터정보통신학부 부교수



장 재 건

- 1997년 University of South Carolina 이학박사(전산학)
- 1997년~현재 한신대학교 컴퓨터정보통신학부 조교수